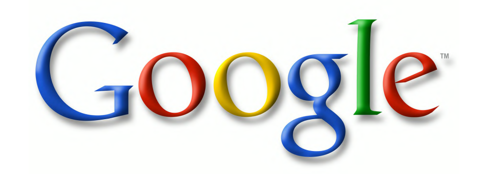


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

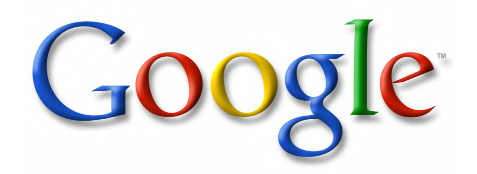
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.



QC
703
A6

YC 11004

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
RECEIVED BY EXCHANGE
Class



ÜBER DAS STATISCHE FUNKENPOTENTIAL [B]EI GROSSEN SCHLAGWEITEN UND DAS VER[H]ÄLTNIS VON SPANNUNG UND SCHLAGWEITE FÜR SCHNELLE SCHWINGUNGEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

MATHEMATISCHEN UND NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT

DER

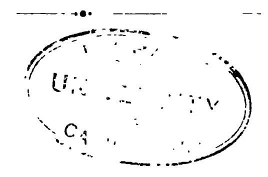
KAISER WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

VORGELEGT

VON

JOSEF ALGERMISSEN

AUS ADLUM IN HANNOVER.



LEIPZIG,

JOHANN AMBROSIUS BARTH.

1905.

2C 703
A6

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

MEINER LIEBEN MUTTER.

202436

I.

Funkenpotential bei großen Schlagweiten.

Für eine Reihe von Fragen[1]) ist es von Interesse, wie das Funkenpotential bei großen Funkenlängen von der Schlagweite und dem Radius der Elektrodenkugeln abhängt. Aus den vorliegenden Messungen von Funkenpotentialen[2]) geht hervor, daß das Funkenpotential nicht proportional der Schlagweite ist, sondern mit steigender Schlagweite langsamer zunimmt, und zwar um so langsamer, je kleiner der Elektrodenradius r ist. So ist z. B. nach Heydweiller[2]) bei gleichem Luftdruck und gleicher Temperatur das Funkenpotential für 1 cm Schlagweite bei $r = 0{,}25$ cm : 20190 Volt, bei $r = 0{,}5$: 27000 Volt, bei $r = 1$ cm : 31290 Volt, bei $r = 2{,}5$ cm : 32850 Volt. Wie aber bei *großen Funkenlängen* für diese Elektrodenradien das Verhältnis von Funkenpotential und Schlagweite ist, kann man aus den bisherigen Messungen nicht entnehmen.

1. Methode.

Ich habe die Potentialdifferenz für große Schlagweiten nicht absolut gemessen, sondern durch Vergleich mit kleinen Funkenpotentialen ermittelt. Es wurden zu diesem Zweck zwei Leidener Flaschen C_1 und C_2 (Fig. 1) bez. drei C_1, C_2, C_3

1) Vgl. z. B. J. Zenneck, Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie p. 850ff. Stuttgart 1905.

2) A. Heydweiller, Wied. Ann. **48.** p. 213. 1893; E. Mascart, Traité d'électricité statique **2.** p. 87. 1876; J. B. Baille, Ann. de chim. et phys. **25.** p. 486. 1882; G. Quincke, Wied. Ann. **19.** p. 568. 1883; E. Bichat u. R. Blondlot, Compt. rend. **103.** p. 245. 1886; G. A. Liebig, Phil. Mag. **24.** p. 106. 1887; P. Czermak, Wiener Ber. 2. **97.** p. 317. 1888; J. Freiberg, Wied. Ann **38.** p. 231. 1889; F. Paschen, Wied. Ann. **37.** p. 69. 1889; A. v. Obermayer, Wiener Ber. 2. **100.** p. 134. 1891; A. Orgler, Ann. d. Phys. **1.** p. 159. 1900; Edmondson, Phys. review vol. VI. p. 65. 1898; A. Oberbeck, Wied. Ann. **62.** p. 109. 1897; **64.** p. 193. 1898; E. Voigt, Ann. d. Phys. **12.** p. 403. 1903; W. Voege, Ann. d. Phys. **14.** p. 567. 1904.

(Fig. 2) hintereinander geschaltet. In Nebenschluß zu einer (C_1) der Flaschen wurde ein Funkenmikrometer F_1 gelegt, in Nebenschluß zu beiden (Fig. 1) bez. allen drei Flaschen (Fig. 2) ein

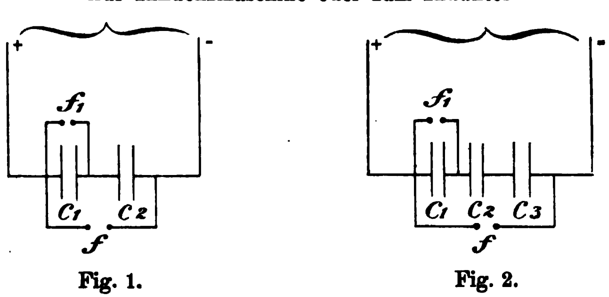


Fig. 1. Fig. 2.

zweites Funkenmikrometer F. Es gilt dann für die Spannungen V an der Funkenstrecke F und V_1 an der Funkenstrecke F_1 die Beziehung

$$V = V_1\left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right) \text{ (Fig. 1)}, \tag{1}$$

$$V = V_1\left(1 + \frac{C_1}{C_2} + \frac{C_1}{C_3}\right) \text{ (Fig. 2)}, \tag{2}$$

wenn C_1 C_2 C_3 die Kapazitäten der Flaschen C_1 C_2 C_3 sind. Werden beide Funkenstrecken F und F_1 so eingestellt, daß bald an der einen, bald an der anderen der Funke übergeht, so ist die Entfernung der Elektrodenkugeln gleich der Schlagweite, welche zu der betreffenden Spannung gehört. Entnimmt man die Spannung V_1, welche der Schlagweite F_1 entspricht, aus den schon vorliegenden Messungen, so folgt die Spannung V, welche der Schlagweite F entspricht, aus Gleichung (1) bez. Gleichung (2).

Ich habe für die Funkenstrecke F_1 in der Regel Kugeln von 1 cm Radius verwendet und für die Spannung V_1 die Angaben von Heydweiller, reduziert auf die betreffende Temperatur und Barometerstand, zu Grunde gelegt.

Vorbedingung für die Brauchbarkeit der Methode ist, *daß man das Verhältnis der Kapazitäten C_1 C_2 C_3 kennt bei den Spannungen, die man messen will.* Das prinzipiell Einfachste wäre also gewesen, Luftkondensatoren zu nehmen, deren Dielektrizitätskonstante von der Intensität des elektrischen Feldes un-

abhängig ist, die also keine dielektrische Hysteresis haben. Bei Kondensatoren mit festem Dielektrikum ist das im allgemeinen nicht der Fall; man ist bei ihnen also nicht sicher, ob ihre Kapazität sich nicht mit der Spannung ändert. Trotzdem mußten aber Kondensatoren mit festem Dielektrikum bei den angewandten hohen Spannungen benutzt werden, da Flüssigkeitskondensatoren nicht zu gebrauchen sind. Meine Kondensatoren waren Leidener Flaschen aus englischem Flintglas. Die Erfahrungen[1]), die mit diesem Material bei schnellen Schwingungen gewonnen wurden, machen es sehr wahrscheinlich, daß es die Erscheinung der dielektrischen Hysteresis, wenn überhaupt, nur in sehr geringem Maße zeigt. Aber selbst wenn die Kapazität dieser Flaschen mit der Spannung sich geändert hätte, so wäre dies ohne merklichen Einfluß auf die Messung gewesen. Die Flaschen waren nämlich nahezu *gleich*. Die Folge davon ist, daß bei jeder Messung die elektrische Feldintensität zwischen den Belegungen in jeder Flasche annähernd gleich, und demnach das *Verhältnis* der Kapazitäten merklich unabhängig davon sein muß, ob die Kapazität selbst sich mit der Spannung ändert.

Daß die verwandte Methode für die angestrebte Genauigkeit ausreicht, geht aus folgendem hervor: 1. Man erhält gut übereinstimmende Werte, wenn man einmal zwei (Fig. 1) und dann drei Flaschen (Fig. 2) nimmt, oder wenn man die Flaschen untereinander vertauscht. 2. Nimmt man als Schlagweiten F solche, für welche die entsprechende Spannung aus absoluten Messungen bekannt ist (d. h. Schlagweiten bis etwa 1,6 cm), so lassen sich die Werte, welche die angegebene Methode liefert, durch jene absoluten Messungen kontrollieren. Tatsächlich stimmen die Werte, welche man auf diese Weise und zwar für Kugelradien (in der Funkenstrecke F) von 2,5 cm, 1 cm und 0,5 cm erhielt, mit den von Heydweiller angegebenen aus absoluten Messungen ermittelten Zahlen etwa ebenso gut überein wie die Werte verschiedener Meßreihen untereinander.[2])

---

1) J. Hopkinson u. E. Wilson, Phil. Trans. 189. p. 109. 1897; G. Rempp, Straßburger Diss. p. 20. 1905 oder Ann. d. Phys. 17. p. 641. 1905.

2) Für einen Kugelradius von 0,25 cm in der Funkenstrecke F erhielt ich Werte für V, die schon bei 1 cm Schlagweite und noch meh

2. Ausführung und Messungen.

Die beiden bez. drei Flaschen, deren Kapazität mit dem Stimmgabelunterbrecher [1]) und deren Kapazitätsverhältnis außerdem noch zur Kontrolle mit der Wheatstoneschen Brücke und Telephon bestimmt war, standen auf isolierenden Glasplatten. Die beiden Funkenstrecken waren so aufgestellt, daß sie sich nicht gegenseitig belichten konnten. Um jegliches Sprühen, das sofort große Unregelmäßigkeiten im Gefolge hatte, möglichst zu vermeiden, wurden sämtliche Zuleitungsdrähte in Glasröhren eingeschlossen und mit Siegellack befestigt. Alle Spitzen und Kanten wurden mit Klebwachs umgeben, so daß man im Dunkeln nirgends ein Sprühen wahrnehmen konnte. Die Messingkugeln wurden wiederholt mit einem Kugelstahl neu abgerundet und vor jeder Meßreihe neu poliert. Während der Messung wurden die Kugeln oft geputzt und die Flaschen und Platten trocken abgerieben, besonders bei hohen Spannungen. Die kleine Funkenstrecke F_1 (Fig. 1 bez. 2) wurde jedesmal fest eingestellt, die große verschoben und zwar einmal so, daß eben kein Funken mehr übersprang, und dann wieder so, daß eben noch einer überging. Die Mitte zwischen beiden Grenzen wurde als die gesuchte Schlagweite angesprochen. [2])

---

bei größeren Schlagweiten ebenso wie die Werte von Freiberg höher liegen als die von Heydweiller angegebenen, z. B.

$r = 0,25$ cm	Schlagweite	Freiberg	Heydweiller	Algermissen
	4 cm	2,96 10^4 Volt	2,50 10^4 Volt	3,1 10^4 Volt
	3 cm	2,84 „	2,44 „	3,0 „
	2 cm	2,46 „	2,32 „	2,75 „

Der Grund für die Abweichung liegt höchstwahrscheinlich darin, daß die Kugeln von 0,25 cm Radius an verhältnismäßig dicke Drähte (Durchmesser 0,4 cm) angeschraubt waren, während Heydweiller (Hülfsbuch p. 164. 1892) ausdrücklich den Fall voraussetzt, daß die Zuleitungsdrähte einen mindestens 6 mal kleineren Durchmesser haben als die Kugeln. Da ich in der folgenden Arbeit dieselben Kugeln gebrauchte, habe ich des Vergleichs wegen diese Werte doch eingetragen.

1) F. Kohlrausch, Lehrbuch p. 529.

2) Störend war bei den Messungen, was Warburg (Wied. Ann. 59. p. 6. 1896) schon bemerkte, „daß die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt der Entladung abnimmt, wenn bei vorangegangenen Verzögerungsversuchen die Entladung ausgeblieben ist". Wenn an der Grenze, wo bei beiden Funkenstrecken ein Funke überspringen konnte, bei einer diese Erscheinung sich zeigte, wurden beide Kugelpaare frisch geputzt.

Zum Laden der Flaschen diente eine Holtz'sche Influenzmaschine oder ein Induktor. Die Influenzmaschine wurde sehr langsam und möglichst gleichmäßig gedreht; bei schnellerem Drehen wurde die Schlagweite in der großen Funkenstrecke länger. Nur bei ganz trockenem Wetter erhielt ich mit der Influenzmaschine bei sehr hohen Spannungen regelmäßige Werte. In den Primärstromkreis des Induktors wurden möglichst wenig Akkumulatoren eingeschaltet. Der Strom wurde unterbrochen durch einen Pendelunterbrecher, ähnlich dem v. Helmholtz'schen.[1]) Ein 1 m langes massives Eisenpendel spielte über zwei ganz leichten Winkelhebeln, deren ein Arm mit zwei Nadeln in Quecksilbernäpfe taucht, während der andere vom Pendel angeschlagen wird. Durch den einen Hebel wird der Strom geschlossen, durch den anderen geöffnet (vgl. Fig. 3). Die Unterbrechung war so regelmäßig, daß man für das Überspringen der Funken hinreichend scharfe Grenzen erhielt. Natürlich mußte überall guter Kontakt vorhanden, das Quecksilber sauber gehalten und mit einer Schicht Alkohol, bei stärkerem Strom Wasser, überdeckt sein. Bei den Messungen wurde Wert darauf gelegt, eine ganze Messungsreihe ohne Unterbrechung und unter konstanten Verhältnissen zu Ende zu führen. Bei guter Isolierung erhielt ich für Schlagweiten bis 6 cm immer Funkenentladung, nur

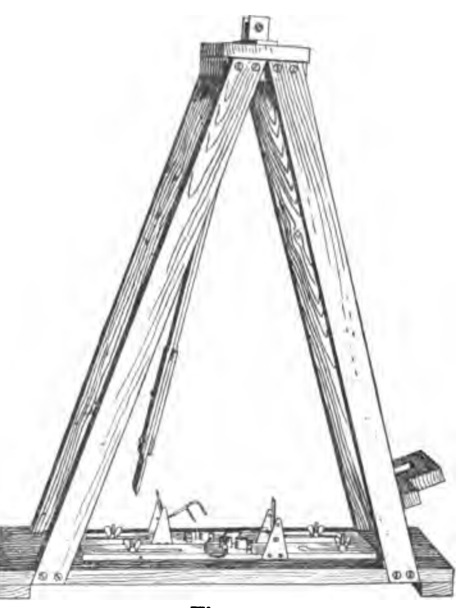


Fig. 3.

1) H. v. Helmholtz, Pogg. Ann. 83. p. 515. 1851; M. Th. Edelmann, Ann. d. Phys. 3. p. 274. 1900.

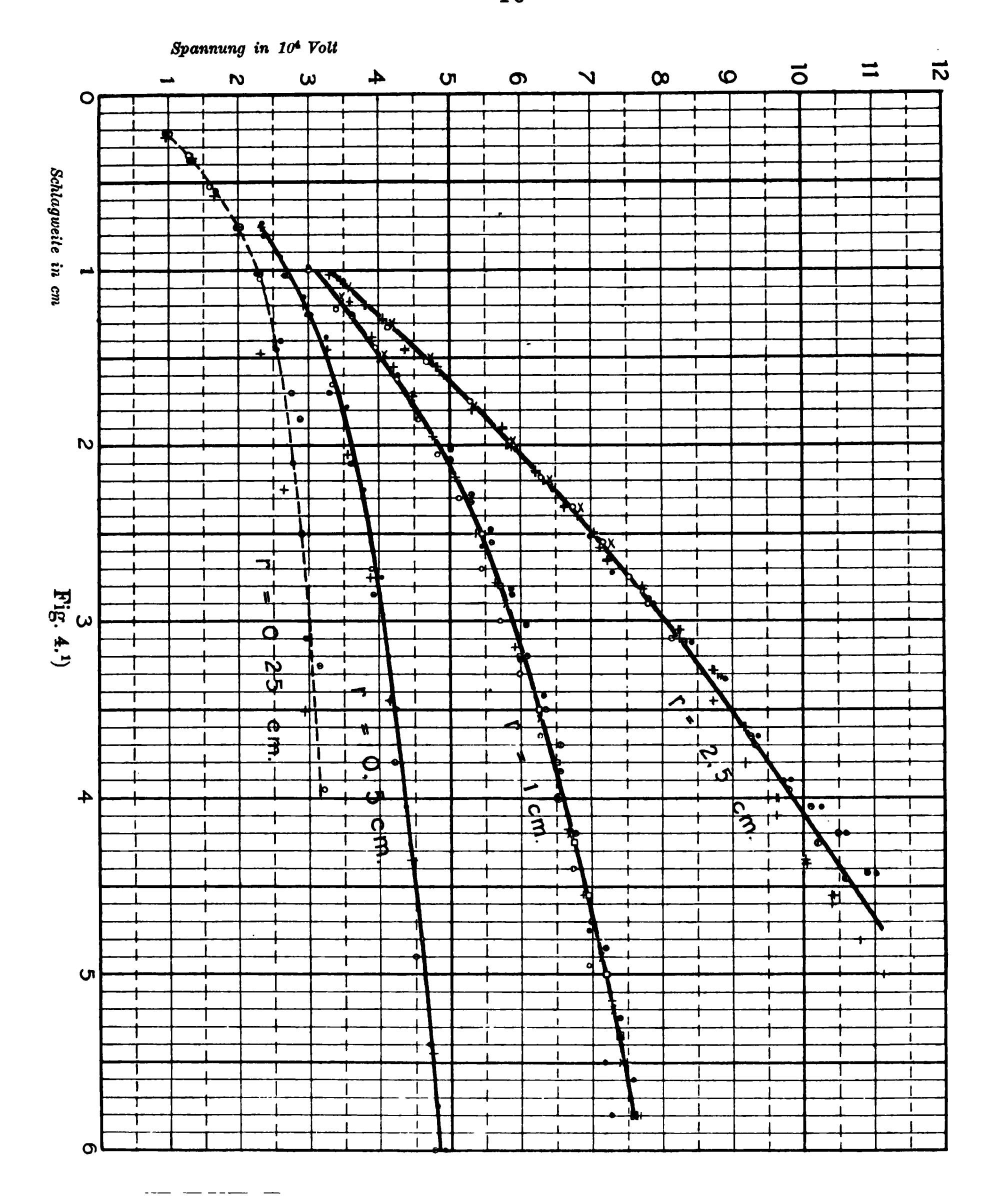


Fig. 4.[1])

---

1) *Erklärung der Zeichen in Fig. 4.* Die Induktorwerte sind durch Kreuze (+ ⧺ ∓ ×) bezeichnet, alle anderen Zeichen (• ○ ⦶ ⊖ □) bedeuten Messungen mit der Influenzmaschine.

bei den kleinen Kugeln ($r = 0{,}25$ cm) trat bei 4 cm Schlagweite Büschelentladung ein.

3. Resultate.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Fig. 4 zusammengestellt. Abszissen sind die Schlagweiten F, Ordinaten die dazu gehörigen Spannungen V. Die Werte einer und derselben Meßreihe sind mit demselben Zeichen eingetragen. Zur Kontrolle wurde eine größere Anzahl von Meßreihen durchgeführt, als in der Figur wiedergegeben werden konnte. Hätte man sie eingetragen, so wären sie in den Streifen gefallen, innerhalb dessen die Werte der eingetragenen Meßreihen liegen. Die Kurven sind so gezogen, daß sie etwa das Mittel aus allen Messungen darstellen. Bei ihrer Beurteilung ist zu bedenken, daß die Werte verschiedener Meßreihen voneinander zum Teil systematisch abweichen. Die Unterschiede zwischen denselben sind also nur zum Teil auf die Ungenauigkeit der Messungen zurückzuführen, zum größeren Teil sind sie in der Verschiedenheit der Bedingungen, unter denen die einzelnen Meßreihen ausgeführt wurden (Lufttemperatur, -druck, -feuchtigkeit, nicht genau gleiche Beschaffenheit der Elektroden, verschiedene Zimmerbeleuchtung)[1]), begründet.

Heydweiller (l. c. p. 230) berechnete nach Reihen von G. Kirchhoff[2]) aus experimentell ermittelten Potentialen und den geometrischen Verhältnissen der Elektroden das „mittlere Entladungsgefälle", d. h. das arithmetische Mittel der Entladungsgefälle an den beiden Elektroden. Es ergab sich, daß dasselbe von der Schlagweite, ganz kleine Schlagweiten ausgenommen, nahezu unabhängig ist und sich nur mit dem Elektrodenradius ändert. Er ermittelte das „mittlere Entladungsgefälle" für die Radien $r = 1$ cm, 0,5 cm und 0,25 cm. Mit Hilfe dieser konstanten Werte konnte er für jede beliebige Funkenlänge das Entladungspotential berechnen. Seine be-

1) A. Heydweiller, Wied. Ann. **48.** p. 220. 1893; v. Obermayer, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch zu Wien (2) **100.** p. 134. 1889. Für eine Änderung von 8 mm des Barometerstandes oder für 3° Temperaturunterschied ändert sich das Entladungspotential um 1 Proz.

2) G. Kirchhoff, Wied. Ann. **27.** p. 673. 1886; Ges. Abh. Nachtrag 131.

rechneten Werte und auch die von mir nach Heydweillers Formeln erhaltenen Werte [*] passen recht gut zu meinen Kurven. Es liegen noch ein paar absolute Messungen mit Kugeln vom Radius 1 cm und 0,5 cm für größere Schlagweiten bis 2,4 cm von Heydweiller und Freiberg vor (Wied. Ann. **48**. p. 214). Ihre Werte fallen unter die von mir ermittelten, die von Freiberg nur wenig, die Heydweiller'schen mehr.

$r = 1$ cm.

Schlagweite	Freiberg	Heydweiller gemessen	Heydweiller berechnet	Algermissen
1,2 cm	3,267 10^4 Volt	3,57 10^4 Volt	3,51 10^4 Volt	3,55 10^4 Volt
1,5	—	4,02 „	4,041 „	4,05 „
2,0	—	4,548 „	4,743 „	4,85 „
2,4	—	4,85 „	5,18 „	5,30 „
3,0	—	—	*5,7 „	5,85 „
4,0	—	—	*6,3 „	6,6 „
4,8	—	—	*6,6 „	7,1 „

$r = 0,5$ cm.

Schlagweite	Freiberg	Heydweiller gemessen	Heydweiller berechnet	Algermissen
1 cm	2,577 10^4 Volt	2,7 10^4 Volt	2,709 10^4 Volt	2,7 10^4 Volt
1,5	2,95 „	3,17 „	3,25 „	3,25 „
2	3,54 „	3,42 „	3,58 „	3,60 „
2,4	3,72 „	3,57 „	3,77 „	3,80 „
4	—	—	*4,17 „	4,35 „
6	—	—	*4,5 „	4,80 „
∞	—	4,78 „	4,8 „	—

Meine Werte für $r = 2,5$ cm stimmen bis 2 cm Schlagweite mit den Werten von E. Voigt[1]) genau überein, von 2—5 cm ergibt sich ein Unterschied. Voigt maß nur einen Teil der Spannung direkt mit einem Spiegelelektrometer; er teilte die Spannung, indem er an einem Holzwiderstand einen Spannungsabfall herstellte.

$r = 2,5$ cm.

Schlagweite	Voigt	Algermissen	Schlagweite	Voigt	Algermissen
1,2 cm	3,8 10^4 Volt	3,8 10^4 Volt	3 cm	7,3 10^4 Volt	8,05 10^4 Volt
2,0	5,77 „	5,8 „	4	8,24 „	9,8 „
2,5	6,7 „	7,0 „	4,5	8,6 „	10,07 „

W. Voege[2]) hat an einem mit Wechselstrom betriebenen Induktor Funkenpotentiale für Funken bis 30 cm Länge zwischen

1) E. Voigt, Ann. d. Phys. **12** p. 403. 1903.
2) W. Voege, Ann. d. Phys. **14**. p. 567. 1904.

Spitzenelektroden gemessen und außerdem noch ein paar Werte für Kugelelektroden mit 0,5—1 cm Radius für Schlagweiten von 1—10 cm ermittelt. Seine Kurven haben in dem von mir gemessenen Intervall denselben Verlauf wie meine, nur liegen seine Werte durchgehends um denselben Betrag höher als meine. Voege selbst gibt an, daß diese Werte etwas unsicher sind.

Die Werte, die den Kurven von Fig. 4 zugrunde liegen, sind:

$r = 2,5$ cm in F ($r = 1$ cm in F_1).

•	Temperatur	17°	Barometerstand	758 mm
○	„	15	„	757
⦶	„	19	„	758
⊖	„	18	„	757
+	„	15	„	758
⧺	„	15	„	745
⧻	„	$19^1/_2$	„	749
×	„	14	„	746

$r = 1$ cm in F ($r = 1$ cm in F_1).

•	Temperatur	17°	Barometerstand	766 mm
○	„	17	„	766
⦶	„	$16^1/_2$	„	767
⊖	„	$16^1/_2$	„	766
□	„	15	„	762
+	„	$14^1/_2$	„	750
×	„	14—15	„	750

$r = 0,5$ cm in F.

•	Temperatur	15°	Barometerstand	764 mm	$r = 0,5$ cm in F_1
○	„	15	„	763	$r = 0,5$ „ F_1
⦶	„	16	„	756	$r = 1$ „ F_1
+	„	18	„	753	$r = 1$ „ F_1

$r = 0,25$ cm in F.

○	Temperatur	16°	Barometerstand	764 mm	$r = 1$ cm in F_1
⦶	„	18	„	761	$r = 0,5$ cm in F_1
•	„	18	„	761	$r = 0,25$ cm in F_1
+	„	16	„	750	$r = 1$ cm in F_1

Als *allgemeines* Resultat folgt aus der Zusammenstellung:

1. Bei kleinem Elektrodenradius ($r \gtreqless 0,5$ cm) nimmt die Spannung von ungefähr 1 cm Schlagweite an mit steigender Schlagweite nur noch sehr langsam zu. Bei großem Elektrodenradius ($r = 2,5$ cm) steigt die Spannung mit Vergrößerung der

Schlagweite sehr viel rascher, bis etwa 5 cm Schlagweite nahezu proportional der Schlagweite. Der Unterschied, den schon früher Messungen zwischen Elektroden mit verschiedenem Radius geliefert hatten, zeigt sich also in noch viel stärkerem Maße bei den untersuchten großen Schlagweiten.

2. Das Verhältnis zwischen Schlagweite und Spannung hängt nicht merklich davon ab, ob die Ladung sehr langsam durch eine Influenzmaschine oder relativ schnell durch einen Induktor erfolgt; nur bei $r = 2{,}5$ cm lieferte für sehr große Schlagweiten die Influenzmaschine durchgehends höhere Werte als der Induktor. Wenn also auch hier die Kurve einfach so gezeichnet wurde, daß sie etwa die Mittelwerte aus sämtlichen Messungen darstellt, so ist zu bedenken, daß für die Influenzmaschine etwas höhere, für den Induktor niederere Werte sich ergaben, als sie durch die Kurve dargestellt sind.

II.

Verhältnis von Schlagweite und Spannung für schnelle Schwingungen.

Sollen bei elektromagnetischen Schwingungen Amplituden bestimmt werden, so wird man soweit als möglich die Braun'sche Röhre verwenden. Da diese aber für Wechselzahlen, die über 10^6 liegen, nicht mehr brauchbar ist, so ist man darauf angewiesen, die Maximalamplitude aus der Funkenschlagweite zu bestimmen. Man ist aber nicht berechtigt, bei schnellen Schwingungen für eine Schlagweite ohne weiteres dieselbe Potentialdifferenz anzunehmen wie bei statischen Verhältnissen. Bjerknes[1]) hat schon darauf aufmerksam gemacht, daß man falsche Resultate erhält, wenn man bei Messungen mit schnellen Schwingungen die statischen Funkenpotentiale benützt. Nach den Arbeiten von Jaumann[2]) ist das auch sehr verständlich. Es geht aus ihnen hervor, daß zum Hervorrufen eines Funkens eine ganz andere Spannung nötig ist, wenn diese Spannung schnell und nur kurze Zeit angelegt wird, als bei statischer Ladung.

Da bis jetzt systematische Messungen über die Beziehung zwischen Schlagweite und Spannungsamplitude bei Schwingungen nicht vorzuliegen scheinen, so habe ich die Funkenpotentiale

---

1) V. Bjerknes, Wied. Ann. 55. p. 124. 1895.

2) G. Jaumann, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien 97. IIa. p. 765. 1888; Wied. Ann. 55. p. 656. 1895. Jaumann kommt bei seinen Untersuchungen zu dem Resultat, daß das Funkenpotential durch die „statischen Verhältnisse des Entladungsfeldes allein nicht bestimmt sei und daß die Art der Änderung der Potentialdifferenz und zwar wahrscheinlich deren Änderungsgeschwindigkeit eine wesentliche Entladungsbedingung ist“ (p. 783).

gemessen bei Schwingungen zwischen 10^6 bis 10^8 Wechseln pro Sekunde.

1. Methode.

Ein Kondensatorkreis (Fig. 5) bestehe aus den in Serie geschalteten Kondensatoren A_1 A_2, B_1 B_2, einer Selbsinduktion p und einer Funkenstrecke F_1. Die Pole derselben sind mit einer Influenzmaschine oder einem Induktor verbunden. Werden dadurch die Kondensatoren $A_1 A_2$ und $B_1 B_2$ genügend hoch geladen, so springt bei F_1 ein Funke über, und in dem Kondensatorkreis entstehen Schwingungen der ihm eigentümlichen Wechselzahl und Dämpfung.

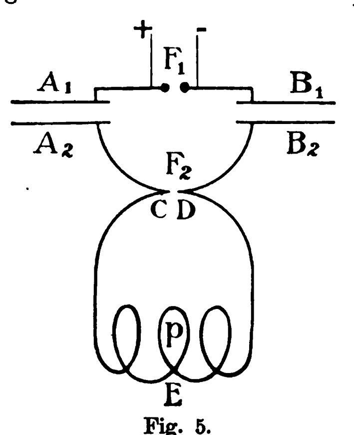


Fig. 5.

Infolge dieser Schwingungen entsteht zwischen zwei Punkten des Kondensatorkreises, z. B. den Punkten C und D, eine oszillatorische Spannung derselben Wechselzahl, welche die Schwingungen des Kondensatorkreises besitzen. Der größte Wert dieser Spannung kann aus der statischen Anfangsspannung zwischen den Kondensatorbelegungen A_1 B_1 einerseits, den Dimensionen des Kreises andererseits teils rechnerisch, teils experimentell bestimmt werden. Die Schlagweite (F_2) zwischen den Punkten C und D läßt sich in gewöhnlicher Weise messen. Man bekommt also die zu einer bekannten Maximalspannung bei der betreffenden Wechselzahl gehörige Schlagweite.

Ist V_0 die Anfangsspannung zwischen den beiden Kondensatorbelegungen A_1 und B_1, i der Strom im Kondensatorkreis, so ist bekanntlich[1]) bei quasistationärer Stromverteilung

$$i = \mathfrak{c}\,\nu\,V_0\left(1+\frac{\delta^2}{\nu^2}\right)e^{-\delta t}\sin \nu t, \tag{1}$$

wenn $\mathfrak{c}$ die wirksame Kapazität der beiden Kondensatorkreise ist. Die Spannung P zwischen den Punkten C und D ist,

1) Vgl. z. B. J. Zenneck, Elektromagnetische Schwingungen. Stuttgart 1905. p. 963.

wenn die Induktanz des Weges DEC sehr groß ist gegen den Widerstand, sehr annähernd identisch mit der elektromotorischen Kraft, die längs des Weges $CDEC$ durch den Strom i erzeugt wird. Sie kann $= - \mathfrak{q}(\partial i / \partial t)$ gesetzt werden und es gilt demnach annähernd:

$$P = - \mathfrak{q} \frac{\partial i}{\partial t}, \tag{2}$$

worin $\mathfrak{q}$ einen Proportionalitätsfaktor bedeutet, der von den Dimensionen des ganzen Kondensatorkreises, nicht nur des Kreises $CDED$ abhängt.[1])

Aus (1) und (2) folgt:

$$P = - \mathfrak{q}\, \mathfrak{c}\, \nu\, V_0 \left(1 + \frac{\delta^2}{\nu^2}\right)(\nu \cos \nu t - \delta \sin \nu t)\, e^{-\delta t}. \tag{3}$$

Der größte Wert, den P annimmt, ist der Wert, den es im Anfang ($t = 0$) hat, obwohl es in diesem Moment nicht gerade im Maximum ist; denn die Maximalwerte von P erhält man aus $\partial P / \partial t = 0$. Das führt zu der Bedingung:

$$- \nu \sin \nu t - \delta \cos \nu t - \delta \cos \nu t + \frac{\delta^2}{\nu} \sin \nu t = 0 .$$

Daraus

$$\frac{\cos(\nu\, t_{\text{max.}})}{\sin(\nu\, t_{\text{max.}})} = \frac{\nu\left(\frac{\delta^2}{\nu^2} - 1\right)}{2\,\delta}, \tag{4}$$

$$\operatorname{tg}(\nu\, t_{\text{max.}}) = - \frac{\frac{2\,\delta}{\nu}}{1 - \frac{\delta^2}{\nu^2}}$$

($t_{\text{max.}}$ = Zeit, für welche P seinen Maximalwert erreicht).

$$\cos(\nu\, t_{\text{max.}}) = \pm \frac{\frac{\delta^2}{\nu^2} - 1}{\left(\frac{\delta^2}{\nu^2} + 1\right)},$$

$$\sin(\nu\, t_{\text{max.}}) = \pm \frac{2\frac{\delta}{\nu}}{\left(1 + \frac{\delta^2}{\nu^2}\right)},$$

$$\nu \cos(\nu\, t_{\text{max.}}) - \delta \sin(\nu\, t_{\text{max.}}) = \frac{\nu\left(\frac{\delta^2}{\nu^2} - 1 - 2\frac{\delta^2}{\nu^2}\right)}{\frac{\delta^2}{\nu^2} + 1} = \mp \nu,$$

1) Vgl. z. B. J. Zenneck, l. c. p. 442.

In Gleichung (3) eingesetzt, ergibt das:

$$P_{\max.} = \pm\, \mathfrak{q}\, \mathfrak{c}\, \nu^2 V_0 \left(1 + \frac{\delta^2}{\nu^2}\right) e^{-\delta\, t_{\max.}}.$$

Aus (4) folgt:

$$\nu\, t_{\max.} = \operatorname{arctg}\left[-\frac{2\frac{\delta}{\nu}}{1-\frac{\delta^2}{\nu^2}}\right]$$

$$= m\pi - \left\{\frac{2\frac{\delta}{\nu}}{1-\frac{\delta^2}{\nu^2}} - \frac{1}{3}\left[\frac{2\frac{\delta}{\nu}}{1-\frac{\delta^2}{\nu^2}}\right]^3 + \dots\right\}$$

$$= m\pi - \frac{2\frac{\delta}{\nu}}{1-\frac{\delta^2}{\nu^2}}\left\{1 - \frac{1}{3}\left[\frac{2\frac{\delta}{\nu}}{1-\frac{\delta^2}{\nu^2}}\right]^2 + \dots\right\}$$

$$= m\pi - \frac{2\frac{\delta}{\nu}}{1-\frac{\delta^2}{\nu^2}}\left\{1 - \frac{4}{3}\left(\frac{\delta^2}{\nu^2} + \text{Glieder} \sim \left(\frac{\delta}{\nu}\right)^4\right)\right.$$

$$= m\pi - \frac{2\delta}{\nu}\left\{1 - \frac{1}{3}\left(\frac{\delta}{\nu}\right)^2\right\},$$

wenn Glieder von der Ordnung $(\delta/\nu)^4$ unterdrückt werden. Da nur positive Werte von t für den vorliegenden Fall in Betracht kommen, so scheidet noch der Wert für $m = 0$ aus und das erste Maximum ist gegeben durch

$$\nu\, t_{\max.} = \pi - \frac{2\delta}{\nu}\left\{1 - \frac{1}{3}\left(\frac{\delta}{\nu}\right)^2\right\}.$$

Es ist dann

$$e^{-\delta\, t_{\max.}} = e^{-\frac{\delta}{\nu}\nu\, t_{\max.}}$$

$$= e^{-\frac{\pi\delta}{\nu}}\left\{1 - 2\left(\frac{\delta}{\nu}\right)^2 + \text{Gl.} \sim \left(\frac{\delta}{\nu}\right)^4\right\}.$$

Nun ist selbst dann, wenn die Schwingungen schon sehr stark gedämpft sind, z. B. bei einem Dekrement $\mathfrak{d} = 0{,}6$

$$\left(\frac{\delta}{\nu}\right)^2 = \left(\frac{\mathfrak{d}}{2\pi}\right)^2 = \text{ca. } 0{,}01\,.$$

Solange also das Dekrement diesen Betrag nicht übersteigt, und man eine größere Genauigkeit als 1 Proz. nicht verlangt, kann $(\delta/\nu)^2$ vernachlässigt und

$$e^{-\delta\, t_{\max.}} = e^{-\frac{\pi\delta}{\nu}}$$

für das erste Maximum gesetzt werden. Es ist dann annähernd

$$P_{\text{max.}} = \pm\, \mathrm{q}\, \mathrm{c}\, v^2\, V_0\, e^{-\frac{\pi\,\delta}{\nu}}$$
$$= \pm\, \mathrm{q}\, \mathrm{c}\, v^2\, V_0 \left(1 - \frac{\pi\,\delta}{\nu}\right).$$

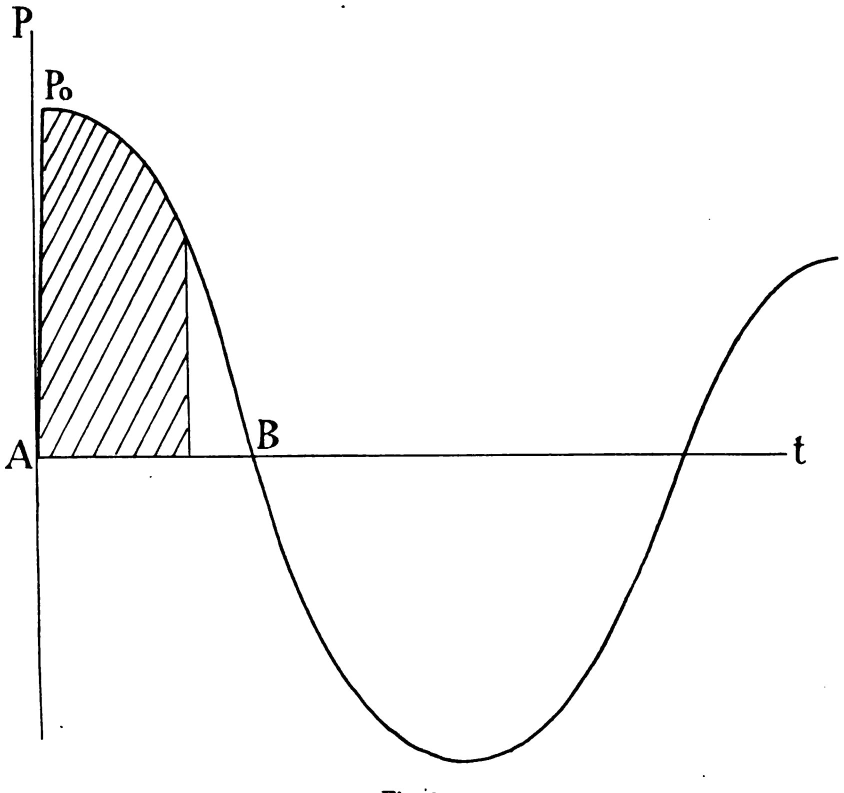


Fig. 6 a.

Vergleicht man diesen Wert mit demjenigen, den P zur Zeit $t = 0$ annimmt (vgl. Gleichung (3))

$$P = \mathrm{q}\, \mathrm{c}\, v^2\, V_0 \left[1 + \left(\frac{\delta}{\nu}\right)^2\right], \tag{3a}$$

so überzeugt man sich unmittelbar, daß der Anfangswert von P der größte ist, den die Spannung P überhaupt erreicht.

Ersetzt man in (3a) v^2 durch $(1/\mathfrak{p}\,c) - \delta^2$, so wird der größte Wert, den P überhaupt annimmt,

$$P_0 = \frac{\mathfrak{q}}{\mathfrak{p}}\,V_0. \tag{6}$$

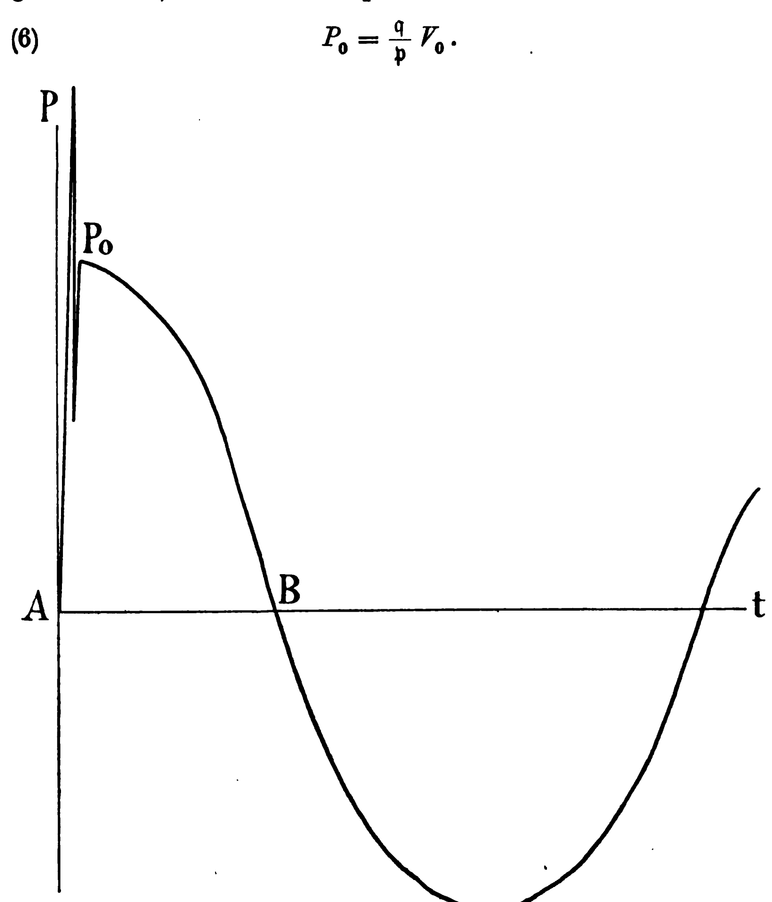


Fig. 6 b.

In dieser Entwickelung ist angenommen, daß die Gleichung (2), welche für $t = 0$ die Beziehung (3a) bez. (16) lieferte, schon gilt von $t = 0$ an, d. h. von dem Moment an, in welchem der Funke die Funkenstrecke F_1 durchbricht. Das ist aber, streng genommen, nicht ganz richtig. Zur Zeit $t = 0$ besteht zwischen C und D tatsächlich die Spannung 0, und es muß erst eine, wenn auch außerordentlich kleine Zeit δt vergehen,

bis P den Maximalwert P_0 erreicht hat. Dieser Spannungsanstieg ist wahrscheinlich aperiodisch (Fig. 6a). Es wäre aber möglich, daß die Funkentrecke F_2 (Fig. 5) als Kondensator wirkt und folglich im Kreise $F_1 C F_2 D F_1$ Schwingungen entstehen, die im Vergleich zu den Schwingungen in $F_1 C E D F_1$ sehr schnell sind. Durch diese Oszillationen würde zwischen C und D (F_2) eine höhere Spannung entstehen können als P_0 (vgl. Fig. 6b). Nach Versuchen, welche in dieser Richtung angestellt wurden, kann man aber wohl annehmen, daß bei den von mir benutzten Dimensionen P_0 als Maximalspannung angesehen werden darf. Wahrscheinlich ist nun für das Überspringen des Funkens nur ein Teil der Kurve AB maßgebend, etwa der gestrichelte (Fig. 6a). Da dieser Teil der Kurve hauptsächlich durch die Wechselzahl charakterisiert ist, so sprechen wir im weiteren von einem Funkenpotential bei einer bestimmten Wechselzahl.

Aus dieser Betrachtung geht hervor, daß die bei unserer Anordnung gefundenen Funkenpotentiale nur für solche gedämpfte Schwingungen gelten, wie sie Kondensatorkreise mit Funkenstrecke liefern. Bei Versuchen mit elektromagnetischen Schwingungen liegt häufig der Fall vor, daß die Amplitude der Schwingung zuerst allmählich ansteigt, dann erst abnimmt, wie es z. B. bei den Schwingungen in einem Sekundärsystem, das mit einem abgestimmten Primärsystem lose gekoppelt ist, zutrifft. Ob die Resultate auch noch für diesen Fall und sehr schnelle Schwingungen gelten (bis zu Wechselzahlen 10^6 ist es sehr wahrscheinlich (s. w. u.)), bleibt dahingestellt.

2. Anordnung.

Das Verhältnis von Schlagweite und Spannung wurde untersucht bei den Wechselzahlen $n = 10^6$/sec, $n = 5 \cdot 10^6$/sec, $n = 10^7$/sec und $n = 10^8$/sec. Für 10^6 bis 10^7 hatte ich geeichte Kondensatorkreise, mit denen ich die zu den Versuchen benutzten in Resonanz brachte. Bei 10^6 waren die Kondensatoren zwei Leidener Flaschen von je 2000 cm und die Selbstinduktionsspule eine Drahtspule von 21 Windungen auf einem paraffinierten Holzrahmen von 32 cm Länge und 29 cm Durchmesser. Für $5 \cdot 10^6$ verwandte ich zwei Leidener Flaschen von je 800 cm und drei gut isolierte Drahtkreise, mit einem Durch-

messer von 30 cm, für 10^7 zwei Leidener Flaschen von je 300 cm und drei Drahtkreise deren Durchmesser 31 cm war. Für die Wechselzahlen $n = 10^8$ wurden als Strombahn benutzt rechteckige Leitungen und als Kondensatoren Plattenkondensatoren, so daß Kapazität und Selbstinduktion berechnet werden konnte.

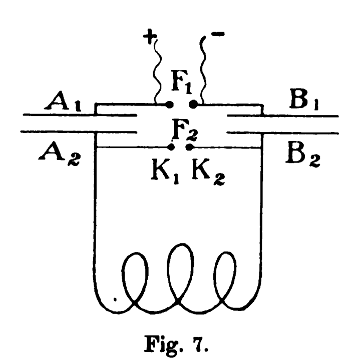
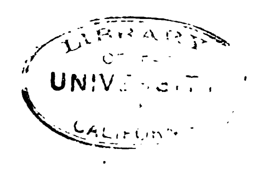


Fig. 7.

Um die Schlagweitez wischen zwei Punkten der Leitung zu bestimmen (den Punkten C und D von Fig. 5) schaltete ich zwischen diesen Punkten eine möglichst kurze Leitung ein, die in zwei Kugeln K_1 und K_2 endete, so daß also die tatsächlich gebrauchte Anordnung diejenige von Fig. 7 war.

Die Funkenstrecken F_1 und F_2 hatten einen gegenseitigen Abstand von 30 cm bei 10^6 und $5 . 10^6$, von 25 cm bei 10^7 und von 6 cm bei 10^8 wechseln pro Sekunde. Bei den Kondensatorkreisen für die Wechselzahlen 10^6 bis 10^7/sec wurde als Funkenstrecke F_2 ein Funkenmikrometer verwendet, bei dem Kondensatorkreis mit der Wechselzahl 10^8/sec war der Stab der einen Kugel am Selbstinduktionskreis festgelötet, der andere in einer Röhre verschiebbar (Fig. 8). Der Kugelabstand wurde in diesem Falle mit dem Ophthalmometer gemessen. Zu dem Zweck beleuchtete ich die Kugeln von hinten durch Ölpapier und bekam so ein scharfes Bild. Das Ophthalmometer behielt bezüglich des Schwingungskreises immer dieselbe Lage. Die beiden Elektrodenkugeln hatten folgende Radien: In F_1 1 cm, in F_2 2,5 cm, 1 cm, 0,5 cm und 0,25 cm, bei 10^8 in F_2 nur 0,25 cm.

Damit das Schwingungssystem mit der Influenzmaschine und dem Induktor möglichst schwach gekoppelt war, wurden die Zuleitungsdrähte unmittelbar an die Funkenstrecke F_1 angelegt und außerdem zwei große Wasserwiderstände in die Zuleitung eingeschaltet. Als Elektrizitätsquelle diente eine Holtz'sche Influenzmaschine oder ein Induktor. Mit der Influenzmaschine konnten nur an ganz trockenen Tagen



Messungen gemacht werden, mit dem kleinen Kondensatorkreis für 10^8/sec Wechsel konnte ich mit statischer Elektrizität überhaupt keine Versuche anstellen. In den Primärkreis des Induktors wurden möglichst wenig Akkumulatoren eingeschaltet und bei kleinen Kondensatoren ein kleines Induktorium benutzt, damit jede Unterbrechung des Primärstromes nur eine einzige Entladung des Kondensatorkreises lieferte. Die Stromunterbrechung geschah durch einen gut funktionierenden Quecksilberpendelunterbrecher (vgl. vorige Arbeit). Auch bei Ladung mit dem Induktor konnte ich nur an ganz trockenen Tagen mit Kondensatorkreisen für die hohen Wechselzahlen Messungen machen.

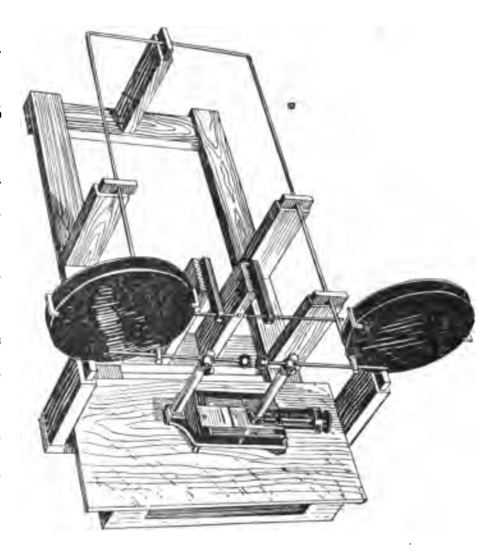


Fig. 8.

Da bei Ladung mit dem Induktor der Funke F_1 sehr unregelmäßig eintrat, belichtete ich die Primärfunkenstrecke F_1 (vgl. Figg. 5 u. 7) mit ultraviolettem Licht mittels einer Bogenlampe und Quarzlinse. Es ergab sich dann keinerlei Unterschied zwischen den Werten, die ich mit dem Induktor und denjenigen, die ich mit der Influenzmaschine bekam; außerdem war der Verlauf der ganzen Erscheinung *viel regelmäßiger*.[1])

1) Dies Ergebnis stimmt sehr gut mit den Resultaten der Warburgschen Untersuchung (Wied. Ann. **59.** p. 7, 14 u. 15. 1896) überein. Warburg schreibt: „Die mitgeteilten Versuche zeigen nun, daß dies statische Entladungspotential durch die Kathodenbelichtung nur unbedeutend verändert wird. Dagegen ist durch die Belichtung mit Bogenlicht die Verzögerung stark vermindert. Die hauptsächliche Wirkung der Kathodenbestrahlung auf die Funkenentladung besteht also nicht in einer Veränderung der statischen Entladungspotentialdifferenz, sondern in der Verminderung der Verzögerung.“

Wohl ist dieses Belichten der Funkenstrecke F_1 nicht ganz unbedenklich. Aus der Schlagweite F_1 sollten mit Hilfe der Tabellen von Heydweiller bez. der Werte meiner ersten Arbeit die statischen Anfangsspannungen V_0 (Gleichung (6)) bestimmt werden. Die Werte von Heydweiller und auch diejenigen meiner ersten Arbeit beziehen sich aber auf Funkenstrecken, die mit Tageslicht belichtet sind. Allein die Versuche zeigten, daß durch das Belichten Änderungen in der Anfangsspannung entweder überhaupt nicht oder nicht in einer für den vorliegenden Zweck in Betracht kommenden Größe hervorgerufen wurde.

3. Bestimmung von q/p.

Das Verhältnis q : p in Gleichung (6) bestimmte ich auf folgende Weise:

Der Kondensatorkreis von Fig. 7 (in Fig. 9 stark ausgezogen) wurde durch zwei möglichst dicht nebeneinander liegende, parallele Drähte G_1 G_2 und H_1 H_2 an die Kondensatoren S und R und die Funkenstrecke F angeschlossen, deren Pole in Verbindung mit einem Induktor standen. Die innere und äußere Belegung jedes Kondensators A_1 A_2 und B_1 B_2 waren an möglichst vielen Stellen metallisch miteinander verbunden, so daß er nicht mehr als Kondensator wirkte. Werden in dem Kondensatorkreis $F\,R\,G_1\,C\,E\,D\,H_1\,S\,F$ Schwingungen erregt, so ist bei demselben Strom der magnetische Induktionsfluß durch den Kreis $G_1\,C\,E\,D\,H_1$ und durch den Kreis $F_2\,C\,E\,D\,F_2$ wesentlich derselbe wie bei den Eigenschwingungen des ursprünglichen Kondensatorkreises $F_1\,C\,E\,D\,F_1$. Ein kleiner Unterschied muß allerdings dadurch bedingt sein, daß 1. in unmittelbarer Nähe von F_1 der magnetische Induktionsfluß durch den Strom in den Drähten G_2 G_1 und H_1 H_2 etwas beeinflußt

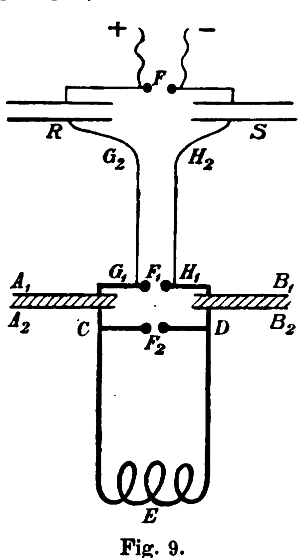


Fig. 9.

wird; 2. die magnetische Wirkung der Kondensatoren mit kurzgeschlossenen Belegungen nicht mehr genau dieselbe ist wie vorher.[1])

Der Unterschied 1. ist sicher nicht groß bei der großen Nähe der parallelen Leitungen $G_1 G_2$ und $H_1 H_2$.

Mit 2. verhält es sich folgendermaßen: Da wo die Kondensatoren Plattenkondensatoren waren (vgl. p. 17), wurden sie durch eine zwischen die Belegungen gebrachte Metallplatte kurz geschlossen. Dann ist der Unterschied im magnetischen Feld sicher sehr gering. Wo die Kondensatoren Leidener Flaschen waren, ist der Unterschied im magnetischen Feld größer. In diesem Fall war aber der Selbstinduktionskoeffizient der Strombahn, die zwischen CED lag, an sich schon so groß, daß der Teil des magnetischen Feldes in der Nähe der Leidener Flaschen zum gesamten Betrag des Selbstinduktionskoeffizienten $\mathfrak{p}$ überhaupt sehr wenig beiträgt.

Wird also von diesen Unterschieden abgesehen, so ist

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{\mathfrak{p}}{\mathfrak{q}},$$

wenn $\mathfrak{p}$ und $\mathfrak{q}$ die Bedeutung haben wie oben und Φ_1 und Φ_2 die Spannungsamplituden bei F_1 und F_2 während einer Schwingung des Kondensatorkreises $FRESF$ sind. Die Spannungsamplituden erhält man aber aus den Schlagweiten F_1 und F_2.

Es wurden deshalb während der Schwingungen des Kondensatorkreises $FRESF$ die Schlagweiten F_1 und F_2 bestimmt. Betrug die Wechselzahl dieser Schwingungen unter 10^6/sec, so wurden Φ_1 und Φ_2 aus den Schlagweiten mit Hilfe der Tabellen für statische Funkenpotentiale bestimmt. Betrug die Wechselzahl über 10^6/sec, so wurde einfach

$$\frac{\mathfrak{p}}{\mathfrak{q}} = \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{F_1}{F_2} \tag{7}$$

---

1) Bezeichnet $\mathfrak{S}$ den Vektor der Strömung, die jetzt in dem Raume zwischen den Kondensatorplatten vorhanden ist, E den Vektor des elektrischen Feldes, das vorher zwischen den Platten vorhanden war, so müßte an jeder Stelle

$$\mathfrak{S} = \frac{d(\varepsilon E)}{dt}$$

sein.

gesetzt. Die Berechtigung dieses Verfahrens ergibt sich aus späterem (p. 23 (2)).[1]

4. Messungen.

Die Primärfunkenstrecke F_1 wurde fest eingestellt, die Kondensatoren so geladen, daß eben ein Funke übersprang. Die Funkenstrecke F_2 wurde einmal so eingestellt, daß eben ein Funke eintrat und dann, daß eben keiner mehr überging. Das Mittel aus beiden Einstellungen wurde als die Schlagweite F_2 angesprochen. Der Abstand der beiden Grenzen war, mochte die Funkenstrecke F_2 belichtet sein oder nicht, gewöhnlich *nicht größer als* $^1/_{10}$ *mm*, bei kleineren etwas kleiner, bei großen etwas größer.[2]

Die zu der Schlagweite F_2 gehörige Maximalspannung P wurde nach Gleichung (6) $P = (\mathfrak{q}/\mathfrak{p}) V_0$ berechnet, und zwar wurde die Anfangsspannung V_0 aus den Funkenlängen F_1 und aus Heydweillers bez., wo diese nicht ausreichten, aus meinen Tabellen für die statischen Entladungsspannungen entnommen. Der Wert von $\mathfrak{q}/\mathfrak{p}$ war aus den in § 3 beschriebenen Messungen bekannt.

Bezüglich der Berechtigung dieser Berechnung ist folgendes zu sagen. Die Voraussetzungen der Gleichungen (6) sind:

1. Die Induktanz der Leitung CED (Figg. 1 und 2) ist groß gegen den Widerstand.

2. Die Dämpfung der Schwingung ist nicht extrem groß, so daß $(\delta/\pi n)^2$ oder, was dasselbe ist, $(\mathfrak{d}/2\pi)^2$ klein ist gegen 1.

Die Voraussetzung (1) ist bei Wechselzahlen über 10^6 bei allen Leitungen, die wie diejenigen meiner Kondensatorkreise aus dickem Draht bestehen, erfüllt.[3]

---

1) Es ergab sich als Mittel aus den Messungen, welche für verschiedene Schlagweiten in F gemacht wurden, für die Kondensatorkreise

$$n = 10^6/\text{sec}: \frac{\mathfrak{q}}{\mathfrak{p}} = 0{,}977, \quad n = 5 \,.\, 10^6/\text{sec}: \frac{\mathfrak{q}}{\mathfrak{p}} = 0{,}905\,.$$

$$n = 10^7/\text{sec}: \frac{\mathfrak{q}}{\mathfrak{p}} = 0{,}88, \quad n = 10^8/\text{sec}: \frac{\mathfrak{q}}{\mathfrak{p}} = 0{,}92.$$

2) Die Elektroden wurden vor jeder Messungsreihe neu poliert und während der Messung oft geputzt. Das Putzen hatte keinen großen, aber immerhin einen merklichen Einfluß, der Eintritt des Funkens wurde regelmäßiger.

3) Vgl. z. B. J. Zenneck, l. c. p. 440.

Um zu sehen, ob die Voraussetzung (2) bei meinen Kondensatorkreisen zutrifft, bestimmte ich nach der Bjerknesschen Resonanzmethode[1]) das Dekrement desjenigen Kondensatorkreises, der nach den Resultaten von Rempp (l. c.) die größte Dämpfung besitzen mußte: In dem Gebiet von 10^6/sec bis 10^7/sec ist dies der Kondensatorkreis für 10^7/sec mit einer Funkenlänge von 3 cm. Es ergab sich ein Dekrement 0,23. Die Voraussetzung (2) ist also bei diesem Kondensatorkreis und erst recht bei den anderen reichlich erfüllt.

5. Resultate.

Die Ergebnisse der Messungen sind in den Figg. 10—13 (stark ausgezogene Kurven) zusammengestellt. Abszissen der

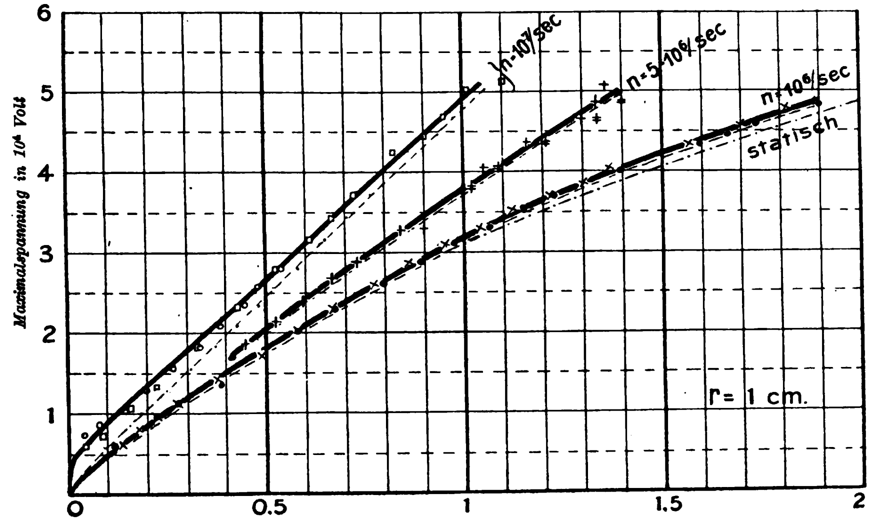


Fig. 10. $r = 1$ cm.

			Temp.	Barometerstand
$n = 10^6$/sec	•	Influenzmaschine . . .	14°	750 mm
	×	Induktor F_1, belichtet .	$15^1/_2$	755 „
$n = 5 \cdot 10^6$/sec	+	„ F_1, „ . .	$15^1/_2$	755 „
	⧺	„	16	756 „
$n = 10^7$/sec	□	„ F_1, belichtet .	15	753 „
	○	Influenzmaschine . . .	16	755 „

1) V. Bjerknes, Wied. Ann. **44**. p. 85. 1891; **55**. p. 121. 1895.

Kurven sind die Schlagweiten F_2, Ordinaten die Maximalspannungen P. Die strichpunktierte Kurve stellt die Beziehung zwischen Schlagweite und Spannung bei statischer Ladung dar.

Was aus den Kurven allgemein entnommen werden kann, ist das Folgende.

1. Während bei einer Wechselzahl von 10^6/sec das Verhältnis von Schlagweite und Maximalspannung noch merklich dasselbe ist wie bei statischer Ladung, ist die zu einer be-

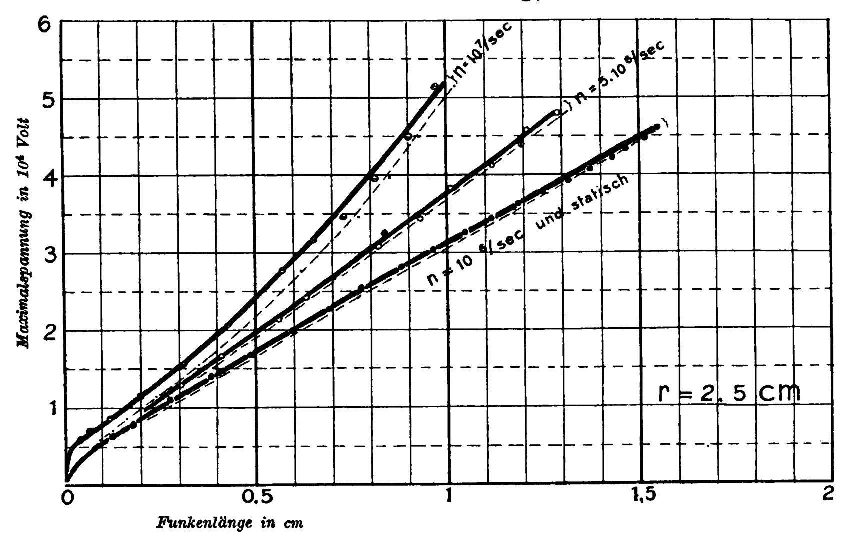


Fig. 11. $r = 2{,}5$ cm.

		Temp.	Barometerstand
$n = 10^6$/sec	• Influenzmaschine . . .	18—20°	750 mm
$n = 5 \cdot 10^6$/sec	○ „ . . .	14	750 „
	⦶ Induktor	16	755 „
$n = 10^7$/sec	⊖ Influenzmaschine . . .	13	743 „

stimmten Schlagweite gehörige Maximalspannung bei höheren Wechselzahlen größer, um so größer, je höher die Wechselzahl ist.

2. Bei Wechselzahlen, die wesentlich höher sind als 10^6/sec, wird die Kurve, die die Abhängigkeit von Maximalspannung und Schlagweite (bei nicht extrem kleiner Schlagweite) darstellt, merklich eine Gerade, die aber nicht durch den Nullpunkt geht.[1]) Es kann also die Beziehung zwischen

1) Bei $r = 0{,}25$, $n = 10^8$/sec scheint dies aber nicht zu stimmen; doch sind diese Messungen etwas unsicher.

Maximalspannung P und Schlagweite F für nicht extrem kleine Schlagweiten annähernd dargestellt werden durch eine Gleichung von der Form

$$P = a + b\,F. \tag{8}$$

a und b sind Konstante, die von der Wechselzahl und dem Radius der Funkenkugeln abhängen.

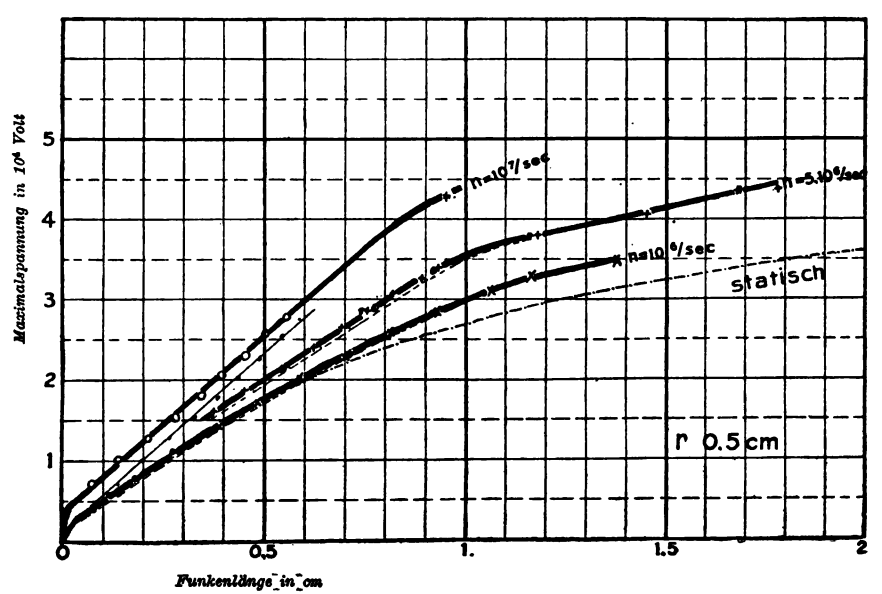


Fig. 12. $r = 0{,}5$ cm.

		Temp.	Barometerstand
$n = 10^6$/sec	• Influenzmaschine . . .	14°	750 mm
	× Induktor F_1, belichtet .	15½	755 „
$n = 5 \cdot 10^6$/sec	⦶ Influenzmaschine . . .	16	755 „
	⧺ Induktor F_1, belichtet .	17	758 „
	× „ F_1, „ . .	15	754 „
$n = 10^7$/sec	○ Influenzmaschine . . .	15	748 „
	∓ Induktor F_1, belichtet .	16	755 „

3. Während bei statischer Ladung die Kurven für die verschiedenen Radien der Funkenkugeln sehr verschieden verlaufen, ist der Unterschied bei schnellen Schwingungen viel geringer.

4. Für orientierende Messungen, bei denen Schlagweiten zur Bestimmung von Maximalamplituden bei derselben Wechsel-

zahl benützt werden sollen und bei denen es nicht auf besondere Genauigkeit ankommt, geben die Resultate folgende Regeln an die Hand: Ist die Wechselzahl $\gtreqless 10^6$/sec, so können

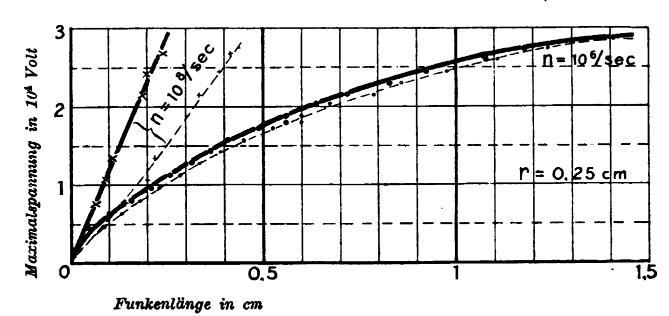


Fig. 13. $r = 0{,}25$ cm.

		Temp.	Barometerstand
$n = 10^6$/sec	• Influenzmaschine . . .	14°	751 mm
$n = 10^8$/sec	× Induktor	13	749 „

die Tabellen für statische Werte benützt werden; bei höheren Wechselzahlen ist die Maximalspannung einfach proportional der Schlagweite zu setzen.

6. Einfluß der Belichtung durch ultraviolettes Licht.[1])

Außer den angegebenen Messungen habe ich noch solche gemacht, bei denen die Funkenstrecke F_2 (Fig. 7) durch ultraviolettes Licht besonders stark belichtet war; die früheren Messungen wurden bei gedämpftem Tageslicht ausgeführt, wobei das Licht der Funkenstrecke F_1 die Funkenstrecke F_2 nicht treffen konnte. Die Beleuchtung der Funkenstrecke F_2 geschah entweder durch den Funken in F_1 oder durch eine Bogenlampe von 10 Ampère; im letzteren Falle wurde die Konstanz der Emission des sichtbaren Lichtes photometrisch kontrolliert.

Die Beziehung, welche zwischen der Maximalspannung P und der Schlagweite F_2 bei Beleuchtung durch den Funken in F_1 besteht, stellen die gestrichelten Kurven in Figg. 10—13 dar. Die einzelnen Werte sind nicht eingetragen, weil sie die

1) Vgl. hierzu die Arbeiten von R. Swyngedauw, Compt. rend. **122.** p. 131 u. 1052. 1896 und H. Hertz, Gesammelte Werke **2.** p. 69. Leipzig 1894 oder Sitzungsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. vom 9. Juni 1887.

Übersichtlichkeit der Figur zu sehr gestört hätten. Sie schließen sich an die Kurven noch ein klein wenig besser an als die Werte bei unbelichteter Funkenstrecke F_2. Bemerkt sei noch, daß für jede Funkenlänge in F_1 einmal eine Messung gemacht wurde, wenn F_2 unbelichtet war und dann gleich, wenn F_2 belichtet wurde, also unter sonst gleichen Verhältnissen.

Aus den Kurven folgt:

1. Das ultraviolette Licht vergrößert für eine bestimmte Maximalspannung P die Schlagweite, aber nur sehr wenig bei den Wechselzahlen bis $5 . 10^6$/sec, bedeutend bei 10^7/sec und ganz außerordentlich stark bei 10^8/sec (Fig. 13).

Es liegt darin der Grund für die wohl bekannte Regel, möglichst schnelle Schwingungen zu verwenden und nicht statische Ladung, wenn man den Einfluß des ultravioletten Lichtes auf Funkenentladung demonstrieren will.

2. In den Fällen ($n = 10^7$), wo die Kurve, welche die Abhängigkeit der Maximalspannung von der Schlagweite bei unbelichteter Funkenstrecke darstellt, annähernd eine Gerade darstellt, die nicht durch den Nullpunkt geht, ist die entsprechende Kurve für die belichtete Funkenstrecke eine damit parallele Gerade, die mindestens annähernd durch den Nullpunkt geht.

Man kann dies so interpretieren: die Belichtung habe die Wirkung, den Anteil a der Entladungsspannung (Gleichung (8) in § 5), der für alle Funkenlängen annähernd konstant ist, zum Teil zu eliminieren.

Die Beleuchtung durch die Bogenlampe hatte qualitativ ähnliche Wirkung. Während aber die Beleuchtung durch den Funken in F_1 bei jeder beliebigen Funkenlänge die Schlagweite um etwa denselben Betrag vergrößert, nimmt die Wirkung des Bogenlampenlichtes mit Vergrößerung der Schlagweite sehr stark ab, bei einigermaßen bedeutender Schlagweite (3—4 mm) ist eine Wirkung kaum noch bemerkbar.[1])

---

1) A. Stragliati fand, daß auch bei statischer Ladung die Belichtung mit der Bogenlampe *besonders für kleine* Funkenlängen wirksam ist, daß bei einer gewissen Schlagweite, welche er „neutrale Schlagweite" nennt und die mit abnehmendem Krümmungsradius der Elektrodenkugeln wächst, die Wirkung der Belichtung ganz aufhört (Beibl. 25. p. 74. 1901).

Eine Messung ergab z. B. folgende Werte:

Volt	F_2 unbelichtet cm	F_2 mit F_1 belichtet	F_2 mit Bogenlampe belichtet
$2,4 \cdot 10^3$	0,01	0,03	0,035
4,2 „	0,015	0,075	0,075
5,8 „	0,025	0,1	0,1
7,3 „	0,06	0,13	0,125
8,7 „	0,1	0,16	0,156
10,2 „	0,13	0,2	0,19
12,9 „	0,21	0,27	0,245
15,6 „	0,28	0,33	0,3
18,3 „	0,34	0,41	0,34

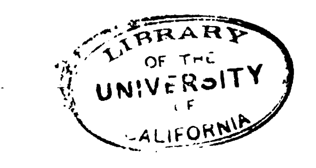
Meinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Prof. Dr. Braun, sage ich ergebenen Dank, daß er meiner Arbeit sein Interesse schenkte und mir die Apparate und Mittel des Instituts bereitwillig zur Verfügung stellte, ebenfalls danke ich herzlichst Hrn. Prof. Dr. Zenneck für seine Ratschläge und freundliche Hilfe.

Straßburg i. E., Physikalisches Institut, Juli 1905.

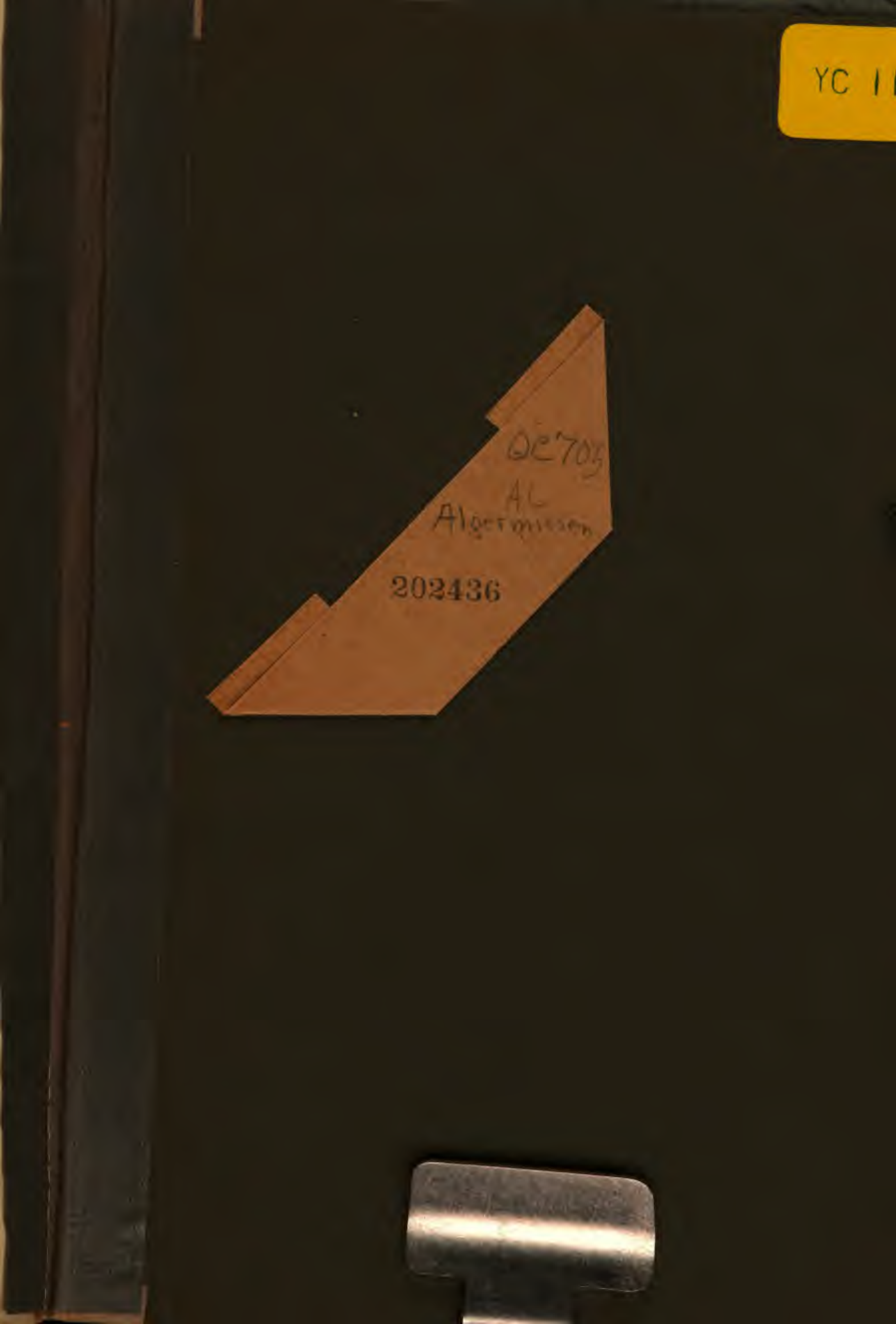
Lebenslauf.

Ich, Josef Algermissen, wurde am 19. März 1880 zu Adlum als Sohn des weiland Hofbesitzers Matthias Algermissen geboren. Ich besuchte vom sechsten bis zwölften Jahr die Volksschule in Adlum, dann das Gymnasium Josephinum in Hildesheim. Nach bestandenem Abiturientenexamen 1901 studierte ich Mathematik, Naturwissenschaften und Philosophie drei Semester in München, ein Semester in Berlin und fünf in Straßburg i/Els. Ich hörte die Herren Professoren und Privatdozenten in München: Bauer, Ebert, Goebel, Harz, Hertwig, Lindemann, Maas, Pauly, Pfänder, Röntgen; in Berlin: Dilthey, Fleischmann, Knoblauch, Lasson, Lummer, Pringsheim, Weinstein; in Straßburg: Bäumker, Braun, Cohn, Goette, Jost, Reye, Roth, Graf zu Solms-Laubach, Weber, Zenneck.

Allen meinen Herren Lehrern spreche ich meinen besten Dank aus.






YC 1
QC705
A4
Algermissen
202436

